TWO DIMENSIONAL FINITE DIFFERENCE MODEL FOR WATER QUALITY IN LAKES

By

WALID MOHAMED ABDEL-SAMAD KHALIFA
B.Sc. Cairo University (1988)
M.Sc. Cairo University (1994)

A Thesis Submitted to the
Faculty of Engineering at Cairo University
in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of
DOCTOR OF PHILOSOPHY
in
CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, CAIRO UNIVERSITY
GIZA, EGYPT
January 2000

TWO DIMENSIONAL FINITE DIFFERENCE MODEL FOR WATER QUALITY IN LAKES

by

WALID MOHAMED ABDEL-SAMAD KHALIFA
B.Sc. Cairo University (1988)
M.Sc. Cairo University (1994)

A Thesis Submitted to the
Faculty of Engineering at Cairo University
in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of
DOCTOR OF PHILOSOPHY
in
CIVIL ENGINEERING

Under the Supervision of

Prof. Dr. SAMEH MOHAMED ABDEL-GAWAD
Professor of Hydraulics
Cairo University

Dr. NAGI MOHAMED ABDEL-HAMID
Lecturer of Hydraulics
Cairo University

FACULTY OF ENGINEERING, CAIRO UNIVERSITY
GIZA, EGYPT
January 2000

TWO DIMENSIONAL FINITE DIFFERENCE MODEL FOR WATER QUALITY IN LAKES

by

WALID MOHAMED ABDEL-SAMAD KHALIFA
B.Sc. Cairo University (1988)
M.Sc. Cairo University (1994)

A Thesis Submitted to the
Faculty of Engineering at Cairo University
in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of
DOCTOR OF PHILOSOPHY
in
CIVIL ENGINEERING

Approved by the
Examining Committee:

Prof. Dr. Sameh Mohamed Abdel-Gawad .....
Professor of Hydraulics
Faculty of Engineering, Cairo University

Prof. Dr. Ahmed Moustafa El-Khashab .....
Head of Irrigation and Hydraulics Department
Faculty of Engineering, Cairo University

Prof. Dr. Ahmed Ahmed Hamza .....
Professor of Environmental Health
Alexandria University

FACULTY OF ENGINEERING, CAIRO UNIVERSITY
GIZA, EGYPT
January 2000

CONTENTS

Page

LIST OF TABLES vii

LIST OF FIGURES viii

LIST OF SYMBOLS AND ABBREVIATIONS x

ACKNOWLEDGMENTS xv

ABSTRACT xvi

CHAPTER 1: SCOPE AND OBJECTIVES OF THE STUDY 1

1.1 INTRODUCTION 1

1.2 OBJECTIVES OF THE STUDY 3

1.3 METHODOLOGY OF THE STUDY 3

1.4 OUTLINE OF THE STUDY 5

1.4.1 Hydrodynamic Model 5

1.4.2 Eutrophication Transport Model 5

CHAPTER 2: LITERATURE REVIEW 6

2.1 INTRODUCTION 6

2.2 HYDRODYNAMIC MODELS 6

2.2.1 One-Layer Homogeneous Models 7

2.2.2 Ekman Type Models 8

2.3 BASIC MECHANISMS OF EUTROPHICATION 9

2.3.1 Phytoplankton Kinetics 11

2.3.1.1 Phytoplankton growth kinetics 11

2.3.1.2 Phytoplankton death and settling kinetics 13

2.3.2 Stoichiometry And Uptake Kinetics 14

2.3.2.1 Phosphorous cycle 14

2.3.2.2 Nitrogen cycle 16

2.4 DISSOLVED OXYGEN BALANCE 18

2.4.1 Atmosphere Reaeration 18

2.4.2 Photosynthesis And Respiration 19

2.4.3 Oxidation Of CBOD 20

2.4.4 Sediment Oxygen Demand 21

2.5 EUTROPHICATION MODELS 22

2.5.1 Coupling Of Ecological Submodels 22
2.5.2 Compartment Models 25
2.5.3 Finite Segment Models 28
2.5.4 Two-And Three-Dimensional Models 29
CHAPTER 3: HYDRODYNAMIC ONELAYER MODEL (ONELAY) 32
3.1 INTRODUCTION 32
3.2 TWO-DIMENSIONAL ONE-LAYER MODEL 32
3.2.1 Governing Equations 33
3.2.2 Boundary Conditions 34
3.2.3 Numerical Techniques 35
3.2.4 Time-Space Differencing Procedures 37
3.2.5 Model Operation 38
3.3 MODEL APPLICATIONS AND RESULTS ANALYSIS 40
3.3.1 Lake Qaroun 40
3.3.2 Data Description 40
3.3.3 Model Sensitivity 43
CHAPTER 4: EUTROPHICATION TRANSPORT MODEL (EUTRAM) 45
4.1 INTRODUCTION 45
4.2 BASIC EQUATIONS AND PARAMETERS 48
4.2.1 Kinetic Processes Affecting Eutrophication 49
4.2.1.1 Phytoplankton kinetics 49
4.2.1.2 Phosphorus cycle 55
4.2.1.3 Nitrogen cycle 57
4.2.1.4 Dissolved oxygen balance 60
4.2.2 Boundary Conditions 67
4.2.3 Numerical Techniques 68
4.2.4 Stability Conditions 70
4.3 MODEL OPERATION 71
4.4 MODEL SENSITIVITY 75
4.5 MODEL CALIBRATION AND VERIFICATION 89
CHAPTER 5: EUTRAM MODEL APPLICATION 97
5.1 INTRODUCTION 97
5.2 EUTROPHICATION CONTROL IN LAKE QAROUN 97
5.3 PRODUCTIVITY IN LAKE QAROUN 102

CHAPTER 6: CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS 110
6.1 CONCLUSIONS 110
6.2 RECOMMENDATIONS 113
REFERENCES 114

LIST OF TABLES

Table		Page
3.1	ONELAY sensitivity parameters	43
4.1	Values of coefficients affecting wind-induced reaeration rate	65
4.2	EUTRAM sensitivity parameters	77
4.3	Input data for ONELAY model	91
4.4	Input data for EUTRAM model	94
4.5	Inputs-point loading in Lake Qaroun	94
4.6	Principal parameter values for Lake Qaroun Kinetics	96
5.1	Comparison between trophic nature criterion in Lake Qaroun	98
5.2	Total dissolved salts of Lake Qaroun	103

LIST OF FIGURES

Figure Page

1.1 Study scope and objectives 4
3.1 Flow chart of ONELAY program 39
3.2 Locations of Lake Qaroun 41
3.3 Finite difference solution grid in Lake Qaroun 42
3.4 Locations of the study in Lake Qaroun 44
4.1 Ecological relationships in a lake environment 47
4.2 Flow chart of EUTRAM program 73
4.3 EUTRAM sensitivity analysis for eddy diffusivity variation 78
4.4 EUTRAM sensitivity analysis for water temperature variation 78
4.5 EUTRAM sensitivity analysis for maximum growth rate of phytoplankton variation 79
4.6 EUTRAM sensitivity analysis for incident light intensity variation 79
4.7 EUTRAM sensitivity analysis for saturation light intensity of phytoplankton variation 80
4.8 EUTRAM sensitivity analysis for carbon to chlorophyll ratio variation 80
4.9 EUTRAM sensitivity analysis for secchi depth variation 81
4.10 EUTRAM sensitivity analysis for endogenous respiration rate variation .. 81
4.11 EUTRAM sensitivity analysis for death rate of phytoplankton variation .. 83
4.12 EUTRAM sensitivity analysis for dissolved organic phosphorus mineralization rate variation 83
4.13 EUTRAM sensitivity analysis for organic nitrogen mineralization rate variation 84
4.14 EUTRAM sensitivity analysis for nitrification rate variation 84
4.15 EUTRAM sensitivity analysis for denitrification rate variation 85
4.16 EUTRAM sensitivity analysis for deoxygenation rate variation 85
4.17 EUTRAM sensitivity analysis for wind speed variation 87
4.18 EUTRAM sensitivity analysis for salinity variation 87
4.19 EUTRAM sensitivity analysis for diffusive exchange coefficient for SOD variation 88
4.20 EUTRAM sensitivity analysis for phytoplankton settling velocity variation 88

4.21 EUTRAM sensitivity analysis for organic matter settling velocity variation 90
4.22 EUTRAM sensitivity analysis for inorganic matter settling velocity variation 90
4.23 Simulated vertically integrated velocity distribution of ONELAY model for Lake Qaroun 93
4.24 Results of EUTRAM model calibration for Lake Qaroun 95
5.1 Level of dissolved oxygen ratio in Lake Qaroun 98
5.2 Nutrient effect on phytoplankton in Lake Qaroun 100
5.3 Limiting nutrient variation effect on chlorophyll-a concentration 100
5.4 Limiting nutrient variation effect on orthophosphorus concentration 101
5.5 Limiting nutrient variation effect on dissolved oxygen ratio 101
5.6 Average total dissolved solids of Lake Qaroun 102
5.7 Simulated chlorophyll distribution of EUTRAM model in Lake Qaroun for year, 1989 105
5.8 Simulated chlorophyll distribution of EUTRAM model in Lake Qaroun for orthophosphate loading of 0.84 mg/l 106
5.9 Simulated dissolved oxygen distribution of EUTRAM model in Lake Qaroun for year, 1989 108
5.10 Simulated dissolved oxygen distribution of EUTRAM model in Lake Qaroun for orthophosphate loading of 0.84 mg/l 109

LIST OF SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

a_{NC} : Nitrogen to carbon ratio for phytoplankton kinetic.

a_{NO_3C} : Oxygen to carbon ratio for nitrate uptake.

a_{OC} : Oxygen to carbon ratio for phytoplankton loss.

a_{ON} : Oxygen to nitrogen ratio for nitrification.

a_{PC} : Phosphorus to carbon ratio for phytoplankton kinetic.

C : Mean value of a constituent concentration.

C_1 : Phytoplankton concentration as a carbon concentration.

C_2 : Organic phosphorus concentration (OP).

C_3 : Inorganic phosphorus concentration (OPO_4).

C_4 : Organic nitrogen concentration (ON).

C_5 : Ammonia nitrogen concentration (NH_3).

C_6 : Nitrate nitrogen concentration (NO_3).

C_7 : Carbonaceous biochemical oxygen demand concentration (CBOD).

C_8 : Dissolved oxygen concentration (DO).

C_d : Drag coefficient.

C_D : Surface drag coefficient.

C_g : Grazing rate of zooplankton.

C_N : Courant number.

C_S : Dissolved oxygen saturation concentration in saline water.

DIN : Dissolved inorganic nitrogen concentration.

DIP : Dissolved inorganic phosphorus concentration.

D_D : Death rate of phytoplankton.

D_{OW} : Diffusivity of oxygen in water.

D_P : Phytoplankton death plus respiration rate constant.

D_R : Endogenous respiration rate at 20^oC.

$D_R(T)$: Temperature corrected rate for phytoplankton respiration.

D_Z : Death rate due to zooplankton grazing.

e : Base of natural logarithms.

E_D : Diffusive exchange coefficient for SOD.

f : Coriolis parameter.

f_d : Fraction of daylight during day.

f_{D2} : Fraction dissolved organic phosphorus.

f_{D3} : Fraction dissolved inorganic phosphorus.

f_{D4} : Fraction dissolved organic nitrogen.

f_{D7} : Fraction dissolved CBOD.

f_{ON} : Fraction of dead and respired phytoplankton recycled to the organic nitrogen pool.

f_{OP} : Fraction of dead and respired phytoplankton recycled to the organic phosphorus pool.

f_u : Conversion factor.

g : Gravitational acceleration.

G_I : Light attenuation factor.

G_{max} : Maximum growth rate of phytoplankton.

G_N : Nutrient limitation factor.

G_P : Phytoplankton growth rate constant.

G_T : Temperature adjustment factor for phytoplankton growth.

H : Water depth.

H_B : Benthic layer depth.

I_a : Average incident light intensity during daylight hours just below the surface, assuming 10% reflectance loss.

I_o : Incident light intensity just below the surface.

I_S : Saturation light intensity of phytoplankton.

i, j : Indices x and y directions, respectively.

K : Bottom friction coefficient.

K_{23} : Dissolved organic phosphorus mineralization rate at $20^{o}C$.

K_{45} : Organic nitrogen mineralization rate at $20^{o}C$.

K_{56} : Nitrification rate at $20^{o}C$.

K_{6D} : Denitrification rate at $20^{o}C$.

K_a : Reaeration rate at $20^{o}C$.

K_{BOD} : Michaelis constant for oxygen limitation of oxidation.

K_c : Extinction coefficient per unit of chlorophyll.

K_D : Deoxygenation rate at $20^{o}C$.

K_e : Total extinction coefficient.

$K_e^{'}$: Extinction coefficient due to sources of absorption and scattering.

K_L : Reaeration coefficient.

K_{mN} : Nitrogen Michaelis constant.

K_{mP} : Phosphorus Michaelis constant.

K_{mPC} : Michaelis constant for phytoplankton recycle.

K_{NIT} : Michaelis constant for oxygen limitation of nitrification.

K_{NO_3} : Michaelis constant for denitrification.

K_o : Von Karman's coefficient.

K_{S1} : Phytoplankton settling rate constant.

K_x, K_y : Horizontal diffusion coefficients in x and y directions, respectively.

P : Pressure.

P_{Chl} : Phytoplankton chlorophyll concentration.

P_e : Peclet number.

P_{NH_3} : Preference for ammonia uptake term.

P_S : Atmospheric pressure at the air-water interface.

S : Salinity in ppt.

S_K : Sink or source kinetic transformation rate.

S_{K1} : Kinetic mass derivative of phytoplankton.

S_{K2} : Kinetic mass derivative of organic phosphorus.

S_{K3} : Kinetic mass derivative of inorganic phosphorus.

S_{K4} : Kinetic mass derivative of organic nitrogen.

S_{K5} : Kinetic mass derivative of ammonia nitrogen.

S_{K6} : Kinetic mass derivative of nitrate nitrogen.

S_{K7} : Kinetic mass derivative of CBOD.

S_{K8} : Kinetic mass derivative of DO.

SOD : Sediment oxygen demand.

SOD (T): Temperature correction for sediment oxygen demand.

S_q : Sink or source loading rate.

t : time.

T : Centigrade temperature of water.

T_a : Centigrade temperature of air.

T_K : Kalvin temperature of water.

u, v : Fluid velocities in x and y directions, respectively.

U, V : Vertically integrated velocities in x and y directions, respectively.

$\overline{V}$: Average water velocity.

V_c : Critical shear velocity depending on scale type of a lake.

V_{S1} : Settling velocity of phytoplankton.

V_{S2} : Settling velocity of organic matter.

V_{S3} : Settling velocity of inorganic matter.

V_t : Transitional shear velocity depending on scale type of a lake.

W : Absolute wind speed.

W_x, W_y : Wind speed in x and y directions, respectively.

X_{PRC} : Mineralization coefficient of phytoplankton effect.

x, y, z : Orthogonal coordinates.

Z_1 : Depth at which 1% of the surface radiation still remains.

Z_e : Equivalent roughness depending on scale type of a lake.

Z_o : Effective roughness.

Zoo : Zooplankton concentration.

Z_S : Secchi depth.

ΔS : Grid space.

Δt : Time increment.

$\Delta x, \Delta y$: Spatial increment in x and y directions, respectively.

ψ : Stream function.

η : Elevation of the water surface above the mean level.

ϕ_{max} : Quantum yield.

λ : Inverse of Reynold's number depending on scale type of a lake.

ν_a : Viscosity of air.

ν_w : Viscosity of water.

ω : Relaxation factor.

ρ : Density of fluid.

ρ_a : Density of air.

ρ_o : Reference water density at 4^oC.

ρ_w : Density of water.

Γ_o : Nondimensional coefficient depending on scale type of a lake.

Γ_u : Nondimensional coefficient.

τ_{bx}, τ_{by} : Bottom shear stress in x and y directions, respectively.

τ_{sx}, τ_{sy} : Surface wind shear stress in x and y directions, respectively.

θ_1 : Temperature coefficient for phytoplankton growth rate.

θ_{1R} : Temperature coefficient for phytoplankton respiration.

θ_{23} : Temperature coefficient for organic phosphorus mineralization.

θ_{45} : Temperature coefficient for organic nitrogen mineralization.

θ_{56} : Temperature coefficient for nitrification.

θ_{6D} : Temperature coefficient for denitrification.

θ_a : Temperature coefficient for reaeration.

θ_b : Temperature coefficient for SOD.

θ_c : Ratio of carbon to chlorophyll in phytoplankton.

θ_D : Temperature coefficient for oxidation.

ξ : Vorticity.

ACKNOWLEDGMENTS

First of all THANKS TO GOD

The author would like to express his gratitude and appreciation to those who generously helped him in conducting this investigation with their knowledge, valuable advice and kind encouragement.

Grateful thanks are due to Professor Dr. Sameh M. Abdel-Gawad, Professor of Hydraulics, Cairo University, who kindly supervised this work and for his valuable advice, support, comments, and criticism.

The author is indebted to Dr. Nagi M. Abdel-Hamid, Lecturer, Irrigation & Hydraulics Department, Cairo University, for his support, attention, guidance, and cooperation in discussing results and analysis. Special acknowledgments are also given to Dr. Sherif M. El-didy, Associate Professor of Hydraulic Engineering, Cairo University, for his significant help and fruitful discussion.

The author would like to thank the staff of Irrigation and Hydraulics Department, Cairo University for their cooperation during the study work.

Finally, I extend my gratitude to my family, especially, my parents and my wife for their encouragement and continuous support throughout the study work.

ABSTRACT

A major portion of our shallow lakes serves as a source of water for fishery's management and recreational activities. Lakes, therefore, become sinks for nutrients in incoming rivers or drains. As a result, eutrophication is one of the more significant water quality problems of lakes.

Eutrophication is most commonly known as the intense proliferation of algae that can result in detrimental changes in the water quality and in the biological populations of a water body. These changes can interfere wildly with fluctuated oxygen levels when over enriched with plant nutrients. The low dissolved oxygen concentrations reflect an unbalanced ecosystem and hence fish mortality, odors, and other aesthetic nuisances. The positive aspects to eutrophication process are used to enhance the production of fish. In addition, the constituents that affecting eutrophication are exposed to the circulation effects.

The purpose of this study is to develop a two-dimensional finite difference homogeneously averaged water quality model coupled with application of hydrodynamic model in lakes.

A two-dimensional hydrodynamic model (ONELAY) is used to generate the currents in lakes. The sensitivity analysis is conducted to Lake Qaroun in Egypt.

A two-dimensional eutrophication transport model (EUTRAM) is developed to characterize the concentration distribution of eight state variables: Chlorophyll-a, organic phosphorus, inorganic phosphorus, organic nitrogen, ammonia nitrogen, nitrite and nitrate nitrogen, carbonaceous biochemical oxygen demand, and dissolved oxygen in lakes. EUTRAM model solves numerically the two-dimensional time dependent eutrophication transport equations. The currents computed by ONELAY model are used to compute the advection term in the EUTRAM mass balance equations. This term is solved using a stream function concept to describe the mixing processes more accurately. The water quality model is calibrated with physico-chemical data in Lake Qaroun. The results of simulation revealed that the limiting factor for eutrophication in Lake Qaroun is phosphorus. The better control of phosphorus loading into the lake is the crucial step toward improving the water quality of Lake Qaroun.

ARABIC SUMMARY

نموذج رياضي ثنائي البعد لدراسة جودة المياه في البحيرات بإستخدام نظرية الفوارق المحدودة

إعـداد

مهندس/ وليـد محمـد عبـد الصمـد خـليفـة

بكالوريوس الهندسة المدنية ـ جامعة القاهرة ـ ١٩٨٨
ماجستير الهندسة المدنية ـ جامعة القاهرة ـ ١٩٩٤

رسالـة مقدمـة إلى كليـة الهندسـة، جامعـة القاهـرة
كجزء من متطلبات الحصول على درجة الدكتوراه
في الهنـدسـة المـدنيـة

كليـة الهندسـة، جامعـة القاهـرة
الجيزة، جمهورية مصر العربية
يناير ٢٠٠٠

نموذج رياضي ثنائي البعد لدراسة جودة المياه في البحيرات بإستخدام نظرية الفوارق المحدودة

إعـداد

مهندس/ وليد محمد عبد الصمد خليفة

بكالوريوس الهندسة المدنية ـ جامعة القاهرة ـ ١٩٨٨
ماجستير الهندسة المدنية ـ جامعة القاهرة ـ ١٩٩٤

رسالة مقدمة إلى كلية الهندسة، جامعة القاهرة
كجزء من متطلبات الحصول على درجة الدكتوراه
في الهندسة المدنية

تحت إشراف

الاستاذ الدكتور/ سامح محمد عبد الجواد
أستاذ الهيدروليكا
كلية الهندسة ـ جامعة القاهرة

الدكتور/ ناجى محمد عبد الحميد
مدرس الهيدروليكا
كلية الهندسة ـ جامعة القاهرة

كلية الهندسة، جامعة القاهرة
الجيزة، جمهورية مصر العربية
يناير ٢٠٠٠

نموذج رياضي ثنائي البعد لدراسة جودة المياه في البحيرات بإستخدام نظرية الفوارق المحدودة

إعـداد

مهندس/ وليـد محمـد عبـد الصمـد خـليفـة

بكالوريوس الهندسة المدنية ـ جامعة القاهرة ـ ١٩٨٨
ماجستير الهندسة المدنية ـ جامعة القاهرة ـ ١٩٩٤

رسالـة مقدمـة إلى كليـة الهندسـة، جامعـة القاهـرة
كجزء من متطلبات الحصول على درجة الدكتوراه
في الهنـدسـة المـدنيـة

يعتمد من لجنة الممتحنين:

الاستاذ الدكتور/ سامح محمد عبد الجواد .....
أستاذ الهيدروليكا ـ جامعة القاهرة

الاستاذ الدكتور/ أحمد مصطفى الخشاب .....
رئيس قسم الري والهيدروليكا ـ كلية الهندسة ـ جامعة القاهرة

الاستاذ الدكتور/ أحمد أحمد حمزة .....
أستاذ صحة البيئة ـ جامعة الإسكندرية

كليـة الهندسـة، جامعـة القاهـرة
الجيزة، جمهورية مصر العربية
يناير ٢٠٠٠

بِسمِ اللّهِ الرَّحمَنِ الرَّحِيمِ

{وَ هُو الذِى سَخَّرَ البَحرَ لِتَأكُلُوا مِنهُ لَحماً طَرِيّاً وَ تَستَخرِجُوا مِنهُ حليَّةً تَلبَسُونَها وَ تَرَى الفُلكَ مَواخِرَ فِيهِ وَ لِتَبتَغُوا مِن فَضلِهِ وَلَعَلكُم تَشكُرُون}

(سورة النحل-الآية ١٤)

بسم الله الرحمن الرحيم

ملخص البحث

نموذج رياضي ثنائي البعد لدراسة جودة المياه في البحيرات بإستخدام نظرية الفوارق المحدودة

مقدمة:

تعد ظاهرة "زيادة التغذية" من أهم الظواهر التي تواجه جودة المياه في البحيرات نظراً لزيادة صرف المخلفات الزراعية والحيوانية التي تحتوى على مركبات النيتروجين والفوسفور مما يؤدى إلى زيادة نمو الهوائم النباتية التي تؤثر بدورها على كمية الأكسجين المذاب في البحيرات، فعند انخفاض هذه الكمية فإن حياة الأسماك الموجودة بداخل هذه البحيرات تتعرض للخطر مما يقلل من إنتاجية البحيرات للثروة السمكية. وقد تظهر بعض المظاهر الإيجابية لظاهرة "زيادة التغذية" عند زيادة إنتاجية البحيرات من الأسماك بما لا يتعارض مع الخصائص الكيمائية والبيولوجية لمياه البحيرات.

ولدراسة هذه الظاهرة ومعرفة مدى تأثيرها على إدارة مصايد الأسماك والأنشطة الإستجمامية داخل وخارج البحيرات كان من الضروري دراسة حركة التيارات المائية التي تسبب زيادة مدى انتشار العناصر المسببة لهذه الظاهرة وكذلك انتقالها من مكان إلى آخر. كما كان ضرورياً دراسة التفاعلات الكيميائية بين تلك العناصر بعضها البعض مع الأخذ في الاعتبار كل العوامل المسببة لهذه التفاعلات.

وقد تمت دراسة ظاهرة "زيادة التغذية" بإستنباط نموذج رياضي ثنائي البعد لدراسة حركة وكمية العناصر المسببة لهذه الظاهرة في البحيرات الغير عميقة والمتجانسة في الاتجاه الرأسي بإستخدام نظرية الفوارق المحدودة وذلك تحت تأثير كميات العناصر الداخلة أو الخارجة من البحيرات وكذلك تحديد الثوابت الخاصة بالتفاعلات الكيميائية لتلك العناصر. كما أمكن توصيف تلك العناصر في أربعة مجموعات رئيسية وهى: الكلوروفيل-أ (كمحتوى كربوني للهوائم النباتية) ، ودورة الفوسفور (الفوسفور العضوي والغير عضوي) ، ودورة النيتروجين (النيتروجين العضوي والأمونيا والنيطرات) ، وميزانية الأكسجين المذاب (الأكسجين المذاب والأكسجين اللازم لأكسدة المواد الكربونية). كما تم إستخدام نموذج رياضي هيدروديناميكى لدراسة حركة التيارات المائية في البحيرات ومايواكبها من حركة وانتشار وتوزيع العناصر المسببة لظاهرة "زيادة التغذية" في المستوى الأفقي للبحيرات وذلك تحت تأثير القوى الدافعية

للرياح وحركة المياه الداخلة أو الخارجة من البحيرات مع الأخذ في الاعتبار التغير في شكل الشاطئ وطبوغرافية القاع والتغير في سرعة واتجاه الرياح.

وقد تم دراسة حساسية النموذج المستنبط نحو المتغيرات المختلفة الداخلة فيه وكذلك معايرة هذا النموذج على بحيرة قارون بجمهورية مصر العربية. كما تم تطبيق هذا النموذج على هذه البحيرة لمعرفة العوامل المؤثرة على زيادة الإنتاجية السمكية للبحيرة وذلك بتحسين ظروف البحيرة.

هذا وقد اشتملت الرسالة على الأبواب التالية:

الباب الأول:

يحتوى هذا الباب على مقدمة عامة لموضوع الرسالة وتوصيف النماذج المستخدمة في حلها بصفة عامة، كما يشمل أهداف الدراسة وأسباب اختيارها والمنهج الذى اتبع في هذه الدراسة وكذلك عرض محتويات الرسالة.

الباب الثاني:

يحتوى هذا الباب على شرح للأساس النظري الذى بنيت عليه الدراسة ووصف العوامل المؤثرة على حركة التيارات والعناصر داخل البحيرة، كما تم استعراض النماذج المتعلقة بموضوع البحث وذلك من خلال دراسة النماذج المستخدمة في حركة وانتشار العناصر المسببة لظاهرة "زيادة التغذية" في البحيرات وعرض النتائج التي توصلوا إليها.

الباب الثالث:

يحتوى هذا الباب على عرض الفروض الأساسية والقوانين الطبيعية للنموذج الهيدروديناميكي ثنائي البعد لدراسة حركة التيارات المائية وبيان الأساليب الرياضية لحل هذه القوانين ويشمل بيان حساسية البرنامج للتغيرات الداخلة فيه وهى سرعة الرياح وإتجاهها وكمية المياه الداخلة والخارجة من البحيرات وكذلك معامل الإحتكاك للقاع.

الباب الرابع:

يحتوى هذا الباب على عرض الفروض الأساسية والقوانين الطبيعية لمعادلة الانتشار المخصصة لدراسة حركة وكمية العناصر المسببة لظاهرة "زيادة التغذية" في المستوى الأفقي ثنائي البعد وكذلك القوانين التي تحكم التفاعلات الكيميائية والبيولوجية بين هذه العناصر بعضها البعض. كما تم عرض الأساليب

الرياضية لحل هذه القوانين ويشمل هذا الباب بيان حساسية البرنامج للمتغيرات الداخلة فيه وبيان أكثرهم حساسية للنموذج وكذلك معايرة هذا البرنامج على نتائج مقاسة لبحيرة قارون.

الباب الخامس:

في هذا الباب يتم تطبيق النموذج المقترح على بحيرة قارون لمعرفة العامل المحدد لنمو الهوام النباتية وإمكانية التحكم من خلاله في زيادة أو خفض الوزن الحيوي للهوائم النباتية بواسطة الكلوروفيل-أ طبقاً للقيم المسموح بها للوصول إلى النتائج المثلى من إنتاجية البحيرة للثروة السمكية. كما يمكن التوصل إلى تحديد قيم الأكسجين المذاب في المواسم المختلفة داخل البحيرة لمعرفة مدى تأثيرها على حياة الأسماك وكذلك على الأنشطة الإستجمامية داخل وخارج البحيرة.

الباب السادس:

في هذا الباب يتم تلخيص النتائج التي انتهت إليها الدراسة مع تقديم تصور لما يمكن أن يتطرق إليه البحث مستقبلاً.

وأهم النتائج التي توصل إليها البحث هي كالآتي:

١- النموذج الهيدروديناميكي ثنائي البعد يمكن إستخدامه لدراسة الحركة الأفقية للكتل المائية للبحيرات الضحلة.

٢- يمكن إستخدام النموذج الهيدروديناميكي لبيان توزيع العناصر المسببة لظاهرة "زيادة التغذية" في البرنامج المستنبط في المستوى الأفقي ثنائي البعد.

٣- يمكن وصف العناصر المسببة لظاهرة "زيادة التغذية" في البرنامج المستنبط وهى: الكلوروفيل-أ، والفوسفور العضوي، والفوسفور غير العضوي، والنيتروجين العضوي، والنيتروجين غير العضوي (الأمونيا والنيطرات)، والأكسجين اللازم لأكسدة المواد الكربونية، والأكسجين المذاب.

٤- تركيز العناصر السالفة الذكر تأثرت بدرجة كبيرة بمعامل الانتشار الأفقي ودرجة الحرارة وكذلك بالعوامل الكيميائية لنمو الهوائم النباتية وعوامل تحويل العناصر من واحد لآخر وأيضاً سرعات الترسيب للهوائم النباتية والمركبات العضوية والغير عضوية للفوسفور والنيتروجين.

٥- بمعايرة النموذج الخاص بدراسة انتشار العناصر المسببة لظاهرة "زيادة التغذية" بالبيانات الفيزكيميائية لبحيرة قارون لمواسم عام ١٩٨٩ وجد أن:

(أ) نمو الهوائم النباتية يتأثر بدرجة كبيرة بكمية الضوء ودرجة الحرارة وتركيز الوزن الحيوي عند مصبات المصارف على البحيرة وكذلك على دورة المركبات الفوسفورية والنيتروجينية.

(ب) الفوسفور غير العضوي هو العامل المحدد لنمو الهوائم النباتية.

(ج) ميزانية الأكسجين المذاب داخل البحيرة تتأثر بعمليات التركيب الضوئي والتنفس لهوائم النباتية وكذلك بكمية الأكسجين اللازم لأكسدة المركبات النيتروجينية والكربونية وأكسدة الرواسب وأيضاً بإعادة التهوية لمياه البحيرة بفعل الرياح.

٦- بتطبيق النموذج الخاص بدراسة ظاهرة "زيادة التغذية" على بحيرة قارون وبمعرفة أن الفوسفور غير العضوي هو العامل المحدد لزيادة أو نقص الكلوروفيل داخل البحيرة أمكن تقدير الإنتاجية القصوى للبحيرة وفقاً للمعايير المسموح بها والمقدمة من هيئة حماية البيئة. فقد وجد أن كمية الفوسفور غير العضوي الداخل إلى البحيرة عن طريق مصرفي البطس والوادي يجب الا يزيد عن ٠.٨٤ مجم/لتر. وعند هذه القيمة وجد أن القيمة المتوسطة للكلوروفيل-أ تصل إلى أعلى قيمة لها في فصل الصيف وهى ٤٠ ميكروجرام/لتر كما أن أقصى قيمة لكمية الأكسجين المذاب تكون في فصل الربيع بقيمة متوسطة ٨ مجم/لتر.

وهذه النتائج تدلنا على أن أقصى قيمة لإنتاجية الأسماك تكون في فصل الصيف كما أن أفضل الأوقات لإقامة الأنشطة الإستجمامية تكون في فصل الربيع.